

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 59108119

PUBLICATION DATE : 22-06-84

APPLICATION DATE : 13-12-82

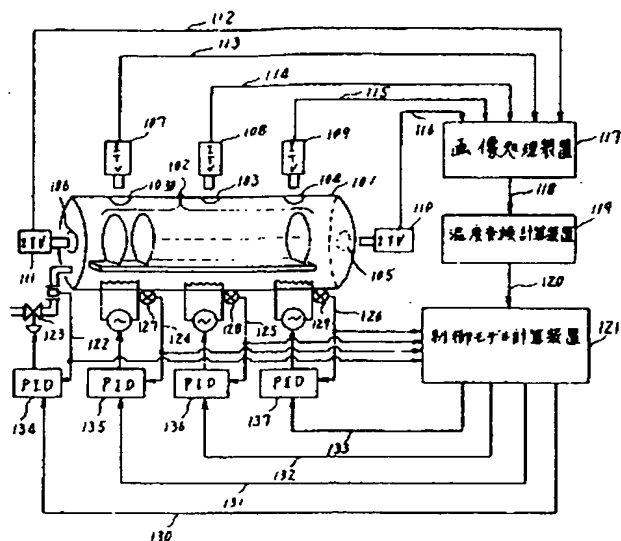
APPLICATION NUMBER : 57216834

APPLICANT : HITACHI LTD;

INVENTOR : MATSUMOTO MASAKAZU;

INT.CL. : G05D 23/19 H01L 21/205 H01L 21/31  
H01L 21/66

TITLE : ON-LINE MEASURING AND  
CONTROLLING SYSTEM OF FURNACE  
TEMPERATURE



ABSTRACT : PURPOSE: To make the internal temperature of an object to be heated in a furnace close to an objective temperature by estimating the furnace temperature from picture information obtained from ITVs and inputting the estimated value to a control model.

CONSTITUTION: The ITVs 107~111 are fitted to windows 1030, 103~106 of the furnace 101. The ITVs 107~111 sends the distribution data 112~116 of the furnace temperature to a picture processor 117, which estimates the external temperature of the object in the furnace and applies the estimated temperature information 118 to a temperature conversion calculating device 119. The device 119 applies the estimated temperature information 118 to a control model computer 121 as the temperature input information 120 necessary for a control model. The control model computer 121 calculates the temperature inside the object to be heated by using the temperature distribution estimating model of the object 102 to be heated and controls the flow rate of feeding gas, the heating temperature of a heater, etc. by a closed loop. Consequently, the dispersion of products can be reduced.

COPYRIGHT: (C)1984,JPO&Japio

⑬ 日本国特許庁 (JP)

⑭ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—108119

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和59年(1984)6月22日

G 05 D 23/19

2117—5H

H 01 L 21/205

7739—5F

21/31

7739—5F

21/66

6851—5F

発明の数 2  
審査請求 未請求

(全 7 頁)

⑭ 炉内温度オンライン計測・制御方式

式会社日立製作所システム開発  
研究所内

⑮ 特 願 昭57—216834

⑯ 発 明 者 松本雅一

⑰ 出 願 昭57(1982)12月13日

下松市東豊井794番地株式会社  
日立製作所笠戸工場内

⑱ 発 明 者 松本邦顕

⑰ 出 願 人 株式会社日立製作所  
東京都千代田区丸の内1丁目5  
番1号

川崎市麻生区王禅寺1099番地株  
式会社日立製作所システム開発  
研究所内

⑲ 発 明 者 松葉育雄

⑳ 代 理 人 弁理士 薄田利幸

川崎市麻生区王禅寺1099番地株

明 細 書

発明の名称 炉内温度オンライン計測・制御方  
式

特許請求の範囲

1. 加熱炉内における被加熱物の内部温度の目標  
値制御方式において、加熱炉ののぞき窓に設  
置された撮像手段で得られた熱スペクトル情報  
にもとづき被加熱物の外部温度を推定し、該推  
定された外部温度と、炉壁に設置された温度セ  
ンサにより測定された炉壁温度およびガス流入  
量情報等を用いて、被加熱物の内部温度を推定  
し、該推定値と、予め与えられている被加熱物  
の目標温度との差にもとづき、目標温度に近づ  
けるように、ヒータやガス流入量等の制御設定  
値を決定することを特徴とする炉内温度オンラ  
イン計測・制御方式。
2. 加熱炉内における被加熱物の内部温度の目標  
値制御方式において、該加熱炉の炉壁を炉側  
方向にゾーン分割し、該炉壁の温度より上記被  
加熱物の炉軸方向温度分布を推定する非球形モ

デル方程式及び、該推定値と目標値との差を評価  
する評価関数にもとづき、該評価関数が最小に  
なるように炉壁温度を決定することを特徴とす  
る炉内温度オンライン計測・制御方式。

発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は半導体の酸化・拡散炉およびCVD炉、  
鉄鋼の高炉、ガラスの溶解炉、紙の蒸解釜、化学  
関連の反応炉等の制御方式に関し、特に炉内にお  
かれた被加熱物の内部温度分布のオンライン計測  
方法および炉の制御方式に関する。

〔従来技術〕

従来、炉内の温度分布を制御するために

(I) 外壁温度予測による制御

(II) 高炉等の目視による制御

などの方法がおこなわれていた。

(I)は炉外壁の温度を突刺し、この突刺値にもと  
づき炉内の温度分布を予測しては所望の制御をお  
こなう方法であり、(II)は高炉内を目視し火炎の色  
などから炉内の温度分布を予測しては所望の制御

をおこなう方法であるが、いずれも過去の経験などにもとづく勘とノウハウに頼るため精緻な炉制御が不可能であつた。

例えば、拡散炉内のウェハを設計で定められた温度でウェハ全体を均一に拡散するための拡散炉の温度制御をおこなう場合に、従来の拡散炉は、炉壁面全体が一定温度になるように制御されていたが、ウェハ自体の温度測定法が無いためウェハ温度がほとんど分つていなかった。ウェハ付近に温度センサを装備すると注入されるガスが乱流状態となり、ウェハ温度の均一性を損う事になるため、センサによる炉心部での温度測定を避けるなければならない。このような理由から炉壁温度より炉内部のウェハ温度を推定することのできるモデルの開発が要求される。従来のように拡散炉の炉壁を一定温度に加熱する方法によると、ウェハの位置により温度が異なり最終的に完成した半導体特性のばらつきを生じ、歩留りを減少させる結果となる欠点を持つ。

〔発明の目的〕

101の適当な場所に窓1030、103～106（窓の個数および形状は、炉の大きさや制御方式によつて異なる）を設け、この窓の位置にITV（工業テレビ）107～111を設置する。このITVにより、炉内の温度分布情報112～116を画像処理装置117に送る。この画像処理装置117には、超高速バイブラインプロセッサ等による高速演算機能や、大容量のリフレッシュメモリ機能を有し、高度な画像処理をリアルタイムで処理できる機能を具備している。この装置117により、炉内の被加熱物の外部温度（但し、ITVから見える範囲の空間）をその熱スペクトル解析により推定し、その温度推定情報118を温度変換計算装置119に入力する。ここで、各ITVからの温度推定情報を、制御モデルに必要な入力情報（たとえば、各ITVの温度分布情報を平均化し平均化温度／ITV）とする。この温度入力情報120を制御モデル計算装置121に入力する。ここでは、被加熱物（ウェハ102）温度分布推定モデルを用い、入力した温度入力情報120

本発明の目的は、炉内の被加熱物の内部温度分布を、目標温度分布に近づけて運転できるようにするための、炉内温度分布のオンライン計測方法および炉を精緻に制御する方式を提供することにある。

〔発明の概要〕

炉内温度は高温（たとえば、1000℃）のため、耐久性等の問題から通常のセンサ（たとえば熱電対等）を炉内のオンライン計測に利用することはできない。そこで、本発明では炉の適当な位置に窓（現状でも設置されているようなのぞき窓のようなもの）を設け、そこにITV（工業テレビ）を複数台設置し、このITVからの画像情報をもとに、画像処理装置を用いて炉内の温度を推定し、この推定値を制御モデルに入力することにより、炉内の被加熱物の内部温度を目標温度に近づけて運転する点に特徴がある。

〔発明の実施例〕

第1図は本発明による半導体の酸化・拡散炉の第1の実施例の構成を示す。第1図において、炉

を境界値（実測値）として、炉内全ウェハ102のウェハ面内温度分布を計算により求める。計算法はウェハ温度、ガス温度、およびガス流速に対する熱流体方程式をモデル化し、温度入力情報120を境界値とし、また、その時の流入ガス流量122をガス流量計123から、炉壁温度124～126を温度計127～129から計測し、これらのデータに基づいて、各ウェハ面内の温度分布を推定計算する。このとき、下記の評価式

$$J = \sum_{i=1}^N \int \alpha_i(\vec{r}) \{T_i(\vec{r}) - T^*\}^2 d\vec{r} \quad (1)$$

ここで、 $i$  : ウェハ面 ( $i = 1, 2, \dots, N$ )

$T^*$  : ウェハ面内目標温度

$T_i(\vec{r})$  : ウェハの位置ベクトル $\vec{r}$ の点での温度

$\alpha_i(\vec{r})$  : 重み係数

において、 $J$ が

$$J - \delta J < J < J + \delta J \quad (2)$$

ここで、 $\delta J$  : 評価許容幅

の評価内に入っているかどうか判定する。もし、入っていれば、現状の制御を継続する。もし、入っていなければ、(1)式のJを最小にするように最適計算を行ない、ガス制御目標値130、ヒータ加熱目標値131~133を求める。これらの目標値はPID制御装置として公知のフィードバック制御装置134~137に入力され、炉がオンライン制御される。

つぎに、本発明による第2の実施例にもとづき、加熱炉内の温度が測定不可能なとき、炉壁温度を一定にするだけでは被加熱物が不均一に加熱されるという欠点を改善するために、炉内部状態を推定するモデルに基づき、加熱炉壁の温度を例えば炉壁に装備されたヒータで調整する事により被加熱物を均一温度で加熱するように制御する手続について詳細に説明する。

第2図は本発明による拡散炉の第2の実施例の構成と、その温度制御装置との接続関係の一例を示す。第2図において、対象とする拡散炉101は円筒型のチューブでウェハ102はその中央部

のポート202に乗せられて炉101内へ搬送され拡散され再び炉201外へ出て行く。問題となるのは拡散中の炉軸(Z軸)方向の炉内の温度分布の推定である。ポート中央部にあるウェハは両隣りのウェハからの直接輻射及び炉壁からの直接輻射により加熱されるので中央部のウェハは両端部のウェハより高温になるものと推定される。従つてウェハを均一温度で拡散するための拡散炉の温度制御は以下のようにして行なわれる。まず初期入力として、たとえば、ウェハの設計(目標)温度 $T^*$ を最適計算装置206に入力し、後述する計算方法によりウェハをヒータ203、204および205で均一加熱するような対称3ゾーンの炉壁温度を決定する。炉壁温度が決定されると、センサ208の炉壁温度測定結果と上記最適計算装置6で決定された炉壁温度との差分を減算器200で計算してこの差分に基づき、PIDコントローラ207を用いる事により、電源209を調整し、前記ヒータ203、204および205により所定の温度に加熱する。

次に、炉壁温度を設定する手続について説明する。i番目のウェハ温度を $T_i$ 、i番目の両隣りのウェハ温度を $T_j$ ( $j = i \pm 1$ )、炉壁温度を $T_F$ 、シリコンの熱伝導率を $K_w$ 、吸収率を $a$ 、ウェハ間の形態係数を $G$ 、ウェハと炉壁との形態係数を $F$ 。とするとi番目のウェハ温度 $T_i$ は次の熱方程式を解く事により得られる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_i}{\partial t} = & -2T_i^4 + a \sum_{j=i \pm 1} \int_{A_j} T_j^4(\vec{r}', t) G_0(\vec{r}, \vec{r}') dA_j + a \int_{F_0} T_F^4(\vec{r}') F_0(\vec{r}, \vec{r}') dF \\ & + Kw(T_i) \cdot \left\{ \frac{\partial^2 T_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_i}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_i}{\partial \varphi^2} \right\} \\ & + \frac{aKw(T_i)}{\partial T_i} \left\{ \left( \frac{\partial T_i}{\partial r} + \frac{T_i}{r} \right)^2 + \left( \frac{1}{r} \frac{\partial T_i}{\partial \varphi} \right)^2 \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

(1)式において、第2項は両隣りのウェハ(その表面積を $A_j$ とする)からの輻射を抜き、第3項は炉壁(その表面積を $F$ とする)からの輻射を示す第3項に対して次のような近似を行なう。ウェハ温度 $T_j(\vec{r}', t)$ が位置 $\vec{r}'$ に対してそれ

ほど変化しないとして $T_j(\vec{r}', t)$ を $T_j(\vec{r}, t)$ で置き換えて積分記号の外に出す。 $G_0(\vec{r}, \vec{r}')$ は $\vec{r} = \vec{r}'$ の時に最大値を取るような関数であり、それ以外の $\vec{r}'$ に対しては $|\vec{r} - \vec{r}'|$ の4乗に逆比例して小さくなるのでこの近似が可能となる。このような近似に対して(1)式は次のように書く事ができる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_i}{\partial t} = & -2T_i^4 + a(T_{i-1}^4 + T_{i+1}^4)g(r) \\ & + aTF^4f(r) + Kw(T_i)V_F^2T_i \quad \dots (2) \end{aligned}$$

$$\text{ここで } V_F^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}$$

(2)式を両端のウェハ、中間部のウェハに分けて表わすと次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial t} = & -2T_1^4 + aTF^4 + Kw(T_1)V_F^2T_1 \\ \frac{\partial T_i}{\partial t} = & -2T_i^4 + a(T_{i-1}^4 + T_{i+1}^4)g(r) + \\ & Kw(T_i)V_F^2T_i + KTF^4 \quad (i = 2, 3, \dots, N) \quad \dots (3) \end{aligned}$$

ここで、 $K T_F^4$  は炉壁からの輻射を扱う項である。今、定常状態でのウェハ温度に着目しウェハ間での温度変動を調べるため拡散項を省略する。

$$\begin{aligned} -2 T_{i-1}^4 + a T_F^4 &= 0 \\ -2 T_i^4 + a (T_{i-1}^4 + T_{i+1}^4) g(r) + K &= 0 \\ (i = 2, 3, \dots, N) \\ -2 T_N^4 + a T_F^4 &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots (4)$$

第1番目と第N番目のウェハ間隔（=ポート長さ  $L_B$ ）を一定にすると、Z軸方向の不連続なウェハ位置  $i$  が、 $N$  が大きくなるにつれて連続量  $Z = i \Delta Z$  ( $\Delta Z = L_B / N$ ) に変わる。そこで  $T_{i-1}^4$  と  $T_{i+1}^4$  を次のように展開する。

$$\begin{aligned} T_{i-1}^4 &= \left\{ T(Z) - \frac{\partial T(Z)}{\partial Z} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 T(Z)}{\partial Z^2} \dots\dots \right\}^4 \\ &= T^4 - 4 T^3 \frac{\partial T}{\partial Z} + 2 T^3 \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \dots\dots (5) \end{aligned}$$

$$T_{i+1}^4 = \left\{ T(Z) + \frac{\partial T(Z)}{\partial Z} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 T(Z)}{\partial Z^2} \dots\dots \right\}^4$$

壁温度  $T_F$  を唯一の操作量として、炉壁温度の両端部を中間部より高温にしてウェハ間の温度差を最小にするような制御方法を取る事である。このアルゴリズムを実現するため次の評価関数を導入する。

$$J = \int_0^{L_B} (T(Z) - T^*)^2 dZ \rightarrow \min \quad \dots\dots (9)$$

ここで  $T^*$  はウェハの設計温度である。今、拡散炉が対称な3ゾーン方式により温度制御されているとして  $T(Z)$  は次のようになる。

$$T(Z) = \begin{cases} T_0; & 0 \leq Z \leq \ell \\ T_L; & \ell \leq Z \leq L_B - \ell \\ T_0; & L_B - \ell \leq Z \leq L_B \end{cases} \quad \dots\dots (10)$$

(8)式、(10)式を(9)式に代入し  $T_0$ 、 $T_L$  についてそれぞれ  $J$  を微分し0と置く事により次式を得る。

$$T_0 = \frac{\frac{2k}{k^2} (X + X') - (Y + Y')}{2 \left(\frac{a}{2}\right)^{\frac{1}{4}} (X + X')}$$

特開昭59-108119(4)

$$= T^4 + 4 T^3 \frac{\partial T}{\partial Z} + 2 T^3 \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \dots\dots (6)$$

(5)、(6)式を(4)式の第2式に代入して  $Z$  に関して2回積分までとり、 $K'$  を温度依存性の非常に小さい定数として整理すると近似的に次式のように書ける。

$$\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = -\frac{1}{2} \frac{1-a g}{a g} T = -K' T_F \quad \dots\dots (7)$$

(4)式の第1、第3式の境界条件式を用いる事により(7)式の解は、

$$\begin{aligned} T(Z) &= \frac{\left(\frac{a}{2}\right)^{\frac{1}{4}} T_0 - \frac{K}{k^2}}{e^{\frac{k L_B}{2}} - e^{-\frac{k L_B}{2}}} ((1 - e^{-k L_B}) e^{k Z} \\ &\quad + (e^{k L_B} - 1) e^{-k Z}) + \frac{K'}{k^2} T_F \quad \dots\dots (8) \end{aligned}$$

$$\text{ここで } k = \sqrt{\frac{1-a g}{a g}}$$

となる。(8)式によつて表わされるZ軸方向の温度分布の大体の様子を第3図に示す。このように両端部に近いウェハは中間部のウェハより低温となる。しかるにウェハ間温度均一化制御の方法は炉

$$T_L = \frac{\frac{2k}{k^2} X'' - Y''}{2 \left(\frac{a}{2}\right)^{\frac{1}{4}} X''} \quad \dots\dots (11)$$

ここで

$$X = \frac{A^2}{2k} (2^{2k\ell} - 1) + \frac{B^2}{2h} (1 - e^{-2k\ell}) + 2AB\ell$$

$$\begin{aligned} X' &= \frac{A^2}{2k} (e^{2kL_B} - e^{2k(L_B-\ell)}) + \frac{B^2}{2k} (e^{-2k(L_B-\ell)} \\ &\quad - e^{-2kL_B}) + 2AB\ell \end{aligned}$$

$$Y = \left( \frac{2K'T_F}{k^2} - \frac{2T^*}{k} \right) (A e^{k\ell} - B e^{-k\ell} - A + B)$$

$$\begin{aligned} Y' &= \left( \frac{2K'T_F}{k^2} - \frac{2T^*}{k} \right) (A e^{kL_B} - B e^{-kL_B} \\ &\quad - A e^{k(L_B-\ell)} + B e^{-k(L_B-\ell)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X'' &= \frac{A^2}{2k} (e^{2k(L_B-\ell)} - e^{2k\ell}) + \frac{B^2}{2k} (e^{-k\ell} \\ &\quad - e^{-2k(L_B-\ell)}) + 2ABL_B - 4ABL \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y'' &= \left( \frac{2K'T_F}{k^2} - \frac{2T^*}{k} \right) (A e^{k(L_B-\ell)} + B e^{-k(L_B-\ell)} \\ &\quad - A e^{k\ell} + B e^{-k\ell}) \end{aligned}$$

さらに

$$A = \frac{1 - e^{-kL_s}}{e^{kL_s} - e^{-kL_s}}, \quad B = \frac{e^{kL_s} - 1}{e^{kL_s} - e^{-kL_s}}$$

である。T<sub>L</sub>及びT<sub>0</sub>の大体の様子を第4図に示す。(11)式によりウエハが均一加熱されるような3ゾーンの炉壁温度が決定された訳であるが、ここで注意しなければならない事は炉壁温度を変える事により(7)式の右辺は変化する事である。故に再び(8)式に戻り(9)式の評価関数を最小化するようなT<sub>0</sub>及びT<sub>L</sub>を計算するというアルゴリズムを繰り返して最適な炉壁温度T<sub>0</sub><sup>\*</sup>、T<sub>L</sub><sup>\*</sup>を得る事ができる。第5図は上記のアルゴリズムを示す。第5図におけるそれぞれのステップでは次の処理を行なう。

ステップ401：初期入力として、たとえば目標の設計温度T<sup>\*</sup>を最適計算装置206に入力する。

ステップ402：(8)式によりウエハ間温度分布を計算する。

ステップ403：(11)式より対称3ゾーンの各々

の温度T<sub>0</sub>、T<sub>L</sub>を計算する。

ステップ404：T<sub>0</sub>、T<sub>L</sub>を用い再び(8)式によりT(Z)を計算する。

ステップ405：評価関数を最小化するT<sub>0</sub>、T<sub>L</sub>かどうかを判定し、真(Y)ならT<sub>0</sub>をT<sub>0</sub><sup>\*</sup>、T<sub>L</sub>をT<sub>L</sub><sup>\*</sup>としT<sub>0</sub><sup>\*</sup>とT<sub>L</sub><sup>\*</sup>をヒータの電源にセットする。偽(N)ならステップ402に戻りアルゴリズムを繰り返す。

#### 〔発明の効果〕

本発明によれば、炉内の被加熱物の外部温度が画像処理技術により明らかとなり、更に、この温度推定値を用いて、被加熱物の内部温度をモデルにより推定することができ、この内部温度を目標値に近づけるように、投入ガス流量、ヒータ加熱温度等の設定値を決めることができるから、これまで勘とノウハウに頼っていた炉制御を、オンライン計測に基づく閉ループ制御とすることができ、歩留り向上に大きな効果が期待できる。また、第

2の実施例に示した方式によれば拡散炉内のウエハを均一加熱するような炉壁温度の制御方式において、熱方程式を基に作成したモデルと評価関数を用いて、該評価関数が最小となるように炉壁温度を操作するようにしたので最適な炉壁温度を決定する事ができ、半導体特性のバラツキを低減し歩留りを向上させる事が可能となる。これにより高性能の半導体を安定に製造する事が可能になりその経済的効果は大きい。

図面の簡単な説明

第1図は本発明による拡散炉の第1の実施例の構成図、第2図は本発明による拡散炉の第2の実施例の構成図、第3図は炉壁を均一加熱した際のウエハ間温度分布を示し、第4図は3ゾーン方式による炉壁温度分布を示し、第5図は制御のアルゴリズムのフローチャートを示す。

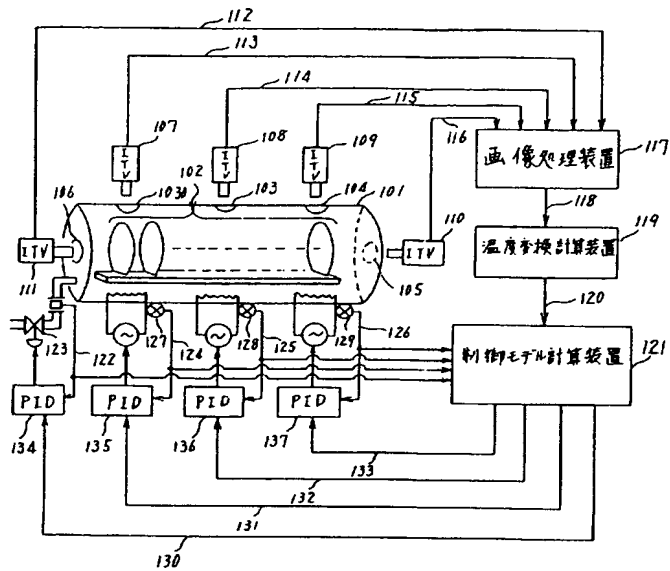
101…拡散炉、102…ウエハ。

代理人 弁理士 薄田利幸

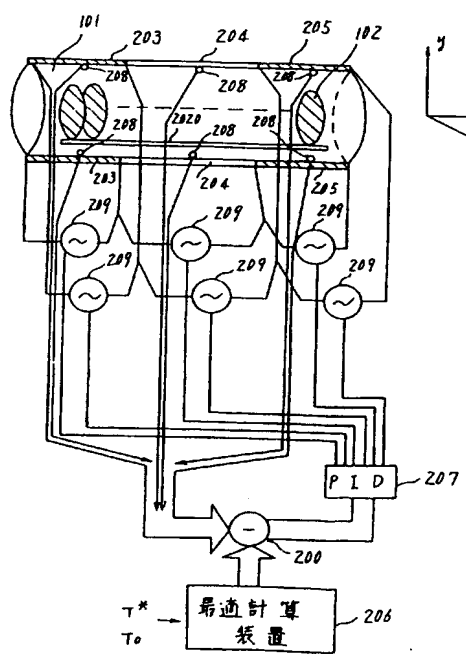


第 1 図

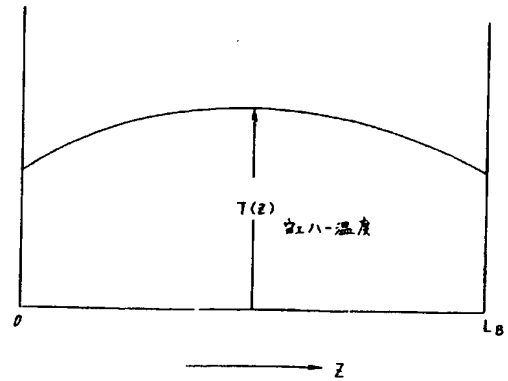
測・制御方式



第 2 図



第 3 図



第 5 図

第 4 図

